

О ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КРИСТАЛЛОВ

П. А. САВИНЦЕВ

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Кристаллы могут подвергаться одновременно значительным механическим, термическим и электрическим воздействиям. В этих случаях бывает необходимо оценить совокупность многих свойств кристаллов.

Показана [1,2] связь свойств ионных кристаллов с энергией кристаллической решетки. Однако опыты по определению энергии решетки сложны и отсутствуют данные об энергии кристаллов с примесями. Поэтому полезно найти такую физическую величину, которая легко определяется на опыте и связана с многими свойствами кристалла: механическими, тепловыми, электрическими и пр.

Мы пришли к тому, что большое число констант, характеризующих свойства кристалла, зависит от молекулярной концентрации. Эту

величину мы обозначаем α и находим из формулы: $\alpha = \frac{D}{M} \cdot 10^3$,

где D — плотность кристалла, а M — молекулярный вес.

Связь α со свойствами щелочно-галогидных кристаллов видна из таблицы 1. Обозначения в таблице 1 следующие: U — энергия кристаллической решетки в ккал/моль, $E_{пр}$ — электрическая прочность

в $\frac{мв}{см}$, ϵ — электронная составляющая диэлектрического коэффици-

ента, σ — ионная проводимость при температуре плавления, B — кон-

станта, входящая в уравнение проводимости $\sigma = Ae^{-\frac{B}{T}}$, β — коэффи-

циент линейного расширения, n_D — коэффициент преломления света. Необходимо заметить, что значение коэффициента k , связывающего константы с α , изменяется при переходе от соединений одного металла к соединениям другого металла. Иногда значения k различаются столь мало, что их можно считать совпадающими. Это видно из рис. 1, 2, 3.

В таблице 2 мы продолжаем сравнение механических характеристик и диэлектрических потерь с величиной α . В таблице 2 величина

$\frac{\gamma}{\gamma_0}$ показывает относительные значения поверхностной энергии, определенные нами по способу взаимного шлифования [3]. Из таблицы 2

видно, что с увеличением α увеличивается твердость кристаллов, а диэлектрические потери ($\operatorname{tg} \delta$ при частоте 10^6 гц) и давление истечения уменьшаются. С увеличением α намечается тенденция к уменьшению модуля сдвига и модуля Юнга.

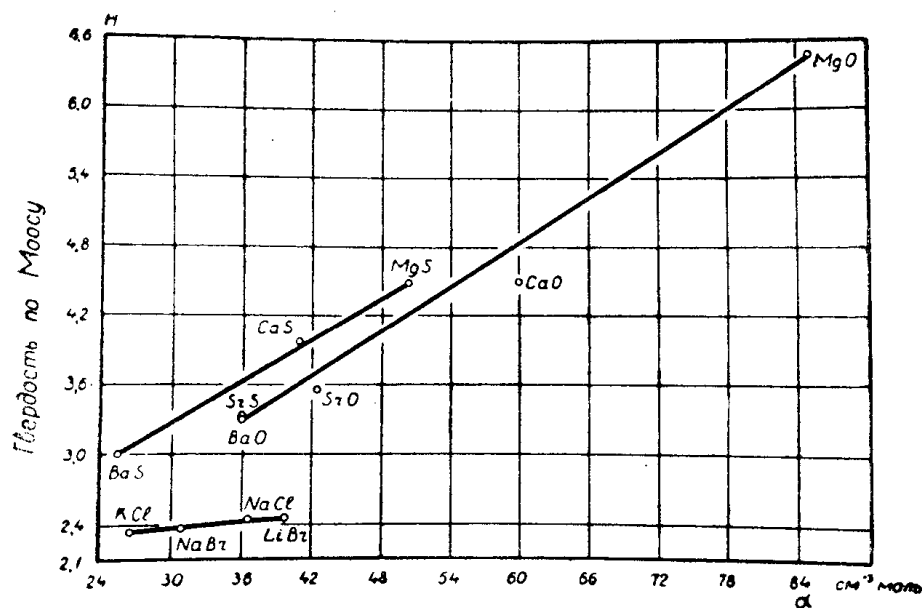


Рис. 1. Связь твердости кристаллов с молекулярной концентрацией α

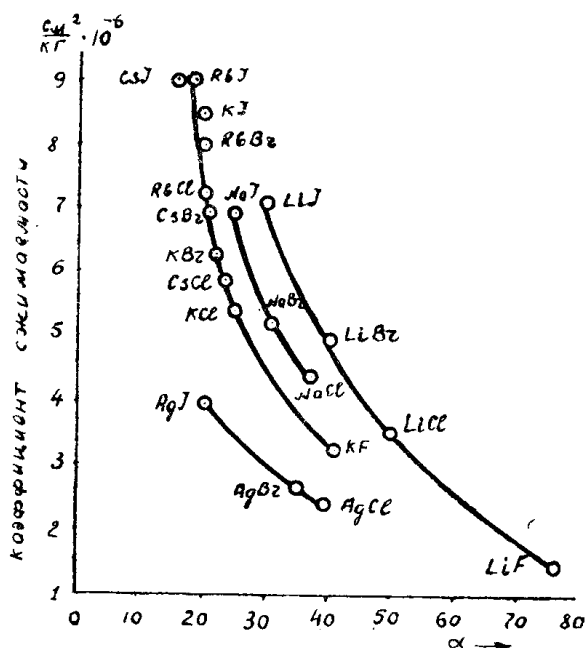


Рис. 2. Связь коэффициента сжимаемости щелочно-галогидных кристаллов с молекулярной концентрацией α

В таблице 3 делается сравнение свойств окислов металлов второй группы с величиной α . Из таблицы 3 видно, что при возрастании α увеличиваются следующие величины: теплота сублимации, температура плавления, энергия решетки, твердость. Теплоемкость, энтропия,

теплота гидротации убывают при возрастании α . Для построения таблиц 1, 2, 3 мы использовали данные [1—12].

Заметим, что зависимость свойств от α наблюдается и для некоторых жидких органических диэлектриков.

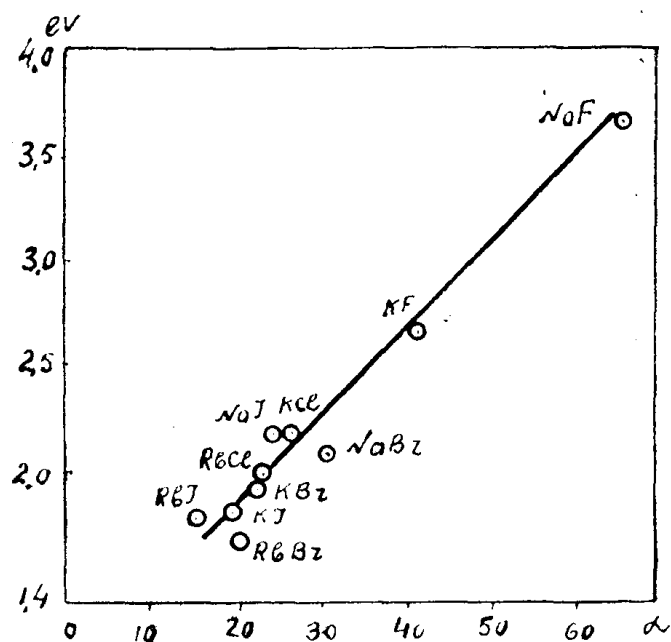


Рис 3. Связь между максимумом поглощения, соответствующим F-полосе, и молекулярной концентрацией α

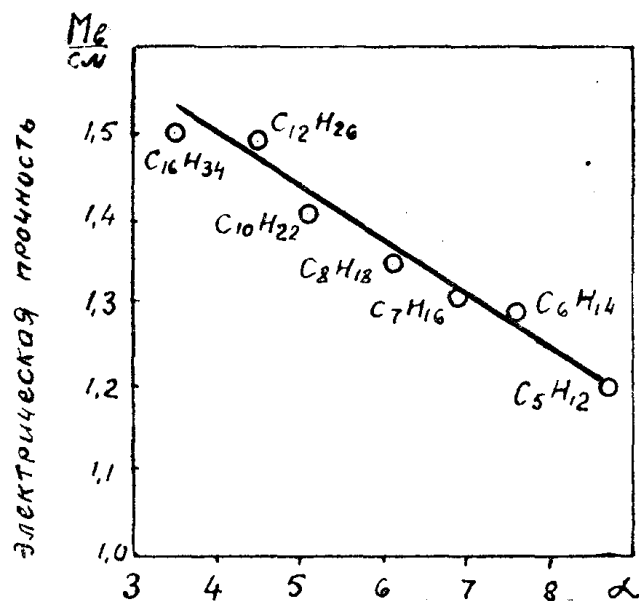


Рис 4 Связь электрической прочности гомологического ряда жидких диэлектриков с молекулярной концентрацией α

Рис. 4 показывает уменьшение электрической прочности гомологического ряда жидких диэлектриков с возрастанием α . В твердых диэлектриках электрическая прочность растет при увеличении α (таб-

лица 1). Это подтверждает высказывания [13] о различном механизме пробоя твердых и жидких диэлектриков.

Установим связь α со свойствами металлов.

М. М. Хрущов и М. А. Бабичев [14], изучая абразивный износ металлов при малых скоростях перемещения образцов, нашли связь относительной износостойкости i с твердостью H по Виккерсу.

Таблица 1

Связь α со свойствами щелочно-галогидных кристаллов

Соли	α	U	$E_{пр}$	σ	В	ϵ	n_D	$\beta \cdot 10^6$	Теплота		
									Плав- ления	Суб- лим.	Образо- вания тв. соед.
LiF	77	240	3,1	$0,6 \cdot 10^{-2}$	25500	1,9	1,38	30,7	6	63	145
LiCl	49	193	—	$1,5 \cdot 10^{-2}$	19000	—	1,66	40,7	5	47	—
LiBr	40	183	—	—	—	—	1,78	46,7	4,5	45	—
LiI	30	171	—	—	—	—	1,95	55,7	—	44	—
NaF	65	215	2,4	$1,7 \cdot 10^{-3}$	26000	1,75	1,33	32,7	7,6	72	135
NaCl	37	180	1,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$	22000	2,25	1,53	36,7	7,0	57	99
NaBr	31	172	1,0	$1,3 \cdot 10^{-3}$	20600	2,65	1,64	39,7	6,1	54	86
NaI	24	161	0,8	$4,0 \cdot 10^{-3}$	—	2,93	1,79	46,5	5,2	50	65
KF	41	190	1,8	$8,0 \cdot 10^{-4}$	27200	1,83	1,35	33,3	6,5	50	134
KCl	26	164	1,0	$2,0 \cdot 10^{-4}$	23900	—	1,50	33,7	6,4	52	107
KBr	22	158	0,7	$2,0 \cdot 10^{-4}$	22800	—	1,55	36,7	6,2	50	95
KI	19	149	0,6	$1,5 \cdot 10^{-4}$	20500	—	1,68	41,7	4,1	49	79
RbF	28	181	—	—	—	—	1,38	—	6	53	—
RbCl	23	159	0,8	$5,0 \cdot 10^{-5}$	24600	—	1,49	32,8	5	52	106
RbBr	20	152	0,6	$3,5 \cdot 10^{-5}$	23500	—	1,55	34,7	5	51	95
RbI	15	144	0,5	—	—	—	1,64	39,7	5	50	83

Таблица 2

Сравнение механических характеристик и диэлектрических потерь с величиной α

Соли	α	Твердость			Модуль сдвига, кг/мм ²	Модуль Юнга, кг/мм ²	Давлен. истеч. кг/мм ²	$\lg \delta \cdot$ 10^{-4}	$\frac{\gamma}{\gamma_0}$
		Цара- пания	Сверле- ния	Затух. колеб.					
LiF	77	—	—	—	3204	14000	—	0,4	—
LiCl	49	—	—	25	1696	6000	—	—	—
LiBr	40	2,6	—	—	1718	1900	—	—	—
LiI	30	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.

Соли	α	Твердость			Модуль сдвига, кг/мм ²	Модуль Юнга, кг/мм ²	Давлен. истеч. кг/мм ²	$\text{tg} \delta \cdot 10^{-4}$	$\frac{\gamma}{\gamma_0}$
		Цара- пания	Сверле- ния	Затух. колеб.					
NaF	65	—	—	—	—	—	—	—	—
NaCl	37	2,5	1,1	20	1234	4400	72	0,6	1,45
NaBr	31	2,4	—	—	923	4780	—	—	,
NaI	24	—	—	—	—	—	—	—	—
KF	41	—	1,3	—	857	7340	—	—	—
KCl	26	—	0,8	7	—	—	50	0,7	1
KBr	22	2,3	0,6	—	369	4470	40	1,0	0,91
KI	19	2,2	—	—	387	2470	31	1,3	—

Таблица 3

Сравнение свойств окислов металлов второй группы
с величиной α

Кристал- лы	α	U	Тверд. по Моосу	Тепло- емк., C_p	Энтродия	Теплота			Темпера- тура плавления, абс
						гидро- тации	образо- вания	субли- мации	
MgO	85	940	6,5	8,93	6,40	9,7	143,5	130	3073
CaO	59	853	4,5	10,23	9,50	15,9	151,9	128	2858
SrO	43	791	3,5	10,76	13,0	19,5	141,1	117	2703
BaO	35	747	3,3	11,34	16,8	24,5	134,0	90	2196

Значения i и H приведены в таблице 4, из которой видно, что с увеличением α увеличивается относительная износостойкость образцов и их твердость.

В таблице 4 (графа 5) мы приводим время t уменьшения амплитуды колебания маятника В. Д. Кузнецова [4] от 3 до 2 см. Величина обратная t может рассматриваться как твердость по методу затухающих колебаний H_3 . Из таблицы 4 видно, что с увеличением α увеличивается твердость H_3 .

В графе 6 таблицы 4 приводятся значения модуля сдвига N , взятые из книги [15]. Можно заметить, что у всех рассматриваемых металлов, кроме кадмия, с увеличением α увеличивается модуль сдвига.

Таблица 4

Сравнение механических свойств металлов с величиной α

Металлы	α	i	$H, \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$	$t, \text{сек}$	$10^{-6}, \text{кг/см}^2$
Pb	55	0,9	5	—	0,075
Sn	61	2,8	12	—	0,1
Cd	77	3,0	20	25	0,0068
Al	100	4,0	25	32	0,271
Zn	105	6,2	42	52	0,35
Cu	140	10	73	55	0,45
Ni	149	16	140	—	0,73

Тонн [16] определял износостойкость i различных металлов при шлифовании по абразивной бумаге. Значения i приводятся в таблице 5, из которой видно, что с увеличением α растет износостойкость металлов.

Таблица 5

Сравнение относительной износостойкости металлов с величиной α

Металлы	Sn	Al	Ag	Zn	Cu	Ni
i	5	25	30	40	55—60	120
α	61	100	97	105	140	149

В. Д. Кузнецов, Н. А. Бессонов и М. Ф. Пиченин [17] определяли абразивный износ цинка, висмута и сурьмы. Поликристаллические образцы указанных веществ истирались о наждачную бумагу № 00, которая была укреплена на диске, вращающемся со скоростью 2,3—3,6 см/сек. Авторы находили величину M_0 , которая численно равна массе сошлифованного слоя при единице работы трения и при площади образца равной единице. Значения M_0 приведены в таблице 6, из которой видно, что M_0 увеличивается при увеличении α .

В. Д. Кузнецов, Н. А. Бессонов и М. Ф. Пиченин изучали также износ некоторых щелочно-галогидных солей. В таблице 6 приводятся

полученные ими значения $\frac{F}{M}$ — отношение силы трения к сошли-

фованной массе. Нетрудно видеть, что $\frac{F}{M}$ увеличивается при увеличении α .

М. А. Большанина [4] связывает процесс протекания пластической деформации со свойствами кристаллической решетки. Поэтому целесообразно искать связь констант, характеризующих пластические свойства металлов, с α . В таблице 7 приводятся по данным [18] зна-

чения поглощенной энергии при статической деформации W , отношение W к работе деформации A , поглощенная энергия при динамическом сжатии W_g (относительная деформация 20%), показатель политропы m и коэффициент упрочнения a . Из таблицы 7 видно, что с увеличением α увеличиваются W , W/A , W_g , m , a .

Таблица 6

Сопоставление характеристик износа с величиной α

Образец	Zn	Sb	Bi	NaCl	KCl	KI
$M_0 \cdot 10^{-6} \text{ мг}$	6,11	23,0	46,3	—	—	—
F/M	—	—	—	14,7	11,2	5,17
α	105	54	46	37	25	15

Таблица 7

Сопоставление поглощенной энергии деформации с α

Металлы	α	W кал при деформациях			W : A при деформациях			W_g кал см ³	m	a кг/мм ²
		25%	37%	49%	25%	37%	49%			
Cu	140	0,93	1,51	—	10	8,6	—	2,1	1,32	0,46
Al	100	0,30	0,47	0,61	7,6	6,8	5,4	1,3	—	0,22
Sn	61	0,01	0,01	0,01	1,4	0,5	0,7	—	1,05	—
Pb	55	0,01	0,001	0,02	1,0	0,3	0,3	0,3	0,96	0,02

Таким образом, молекулярная концентрация α является совокупной характеристикой многих свойств веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. и Завадовская. Е. К. Физические и электрические свойства ионных кристаллов, Известия ТПИ, т. 83, 1956.
2. Завадовская. Е. К. О диэлектриках с высокой электрической прочностью, Доклады Академии наук СССР, т. 82, № 5, 1952.
3. Савинцев П. А. и Куцепаленко В. В. Измерение поверхностных энергий монокристаллов системы хлористый калий—хлористый натрий по способу сверления и взаимного шлифования Известия ТПИ, т. 83, 1956.
4. Кузнецов В. Д. Физика твердого тела, т. 1, 1937; т. 2, 1941; т. 4, 1947. Томск.
5. Goldschmidt. V. M. Krystallbau und chemische Zusammensetzung, Berichte d. Deutsch. Chem. Ges. 60, 1927.
6. R. Auerbach, Über die Oberflächenenergie fester Werkstoffe, Werkstoffe und Korrosion, 5, № 6, 1954.
7. Курнаков Н. С. Собрание избранных работ, т. 1, ОНТИ, 1938; т. 2, ГОНТИ, 1939.
8. Сборник физических констант под ред. Я. Г. Дорфмана и С. Э. Фриша, ОНТИ, 1937.
9. Техническая энциклопедия, Справочник физических, химических и технологических величин, 1927.

10. Водспянов К. А., Воробьев А. А. и Кривов М. А. Диэлектрические потери, электрическая прочность кристаллов щелочно-галогидных солей и энергия решетки, Известия ТПИ, т. 83, 1956.

11. Зейт В. Ионная проводимость в твердых солях, Успехи физических наук, т. 18, 4, 1937.

12. Завадовская. Е. К. Замечание о связи F-полосы поглощения в щелочно-галогидных кристаллах и энергии решетки, Известия ТПИ, т. 83, 1956.

13. Воробьев А. А. и Калганов, А. Ф. К вопросу о связи электрической прочности жидких диэлектриков с их физико-химическими свойствами. Известия ТПИ, т. 83, 1956.

14. Хрущов М. М. и Бабичев М. А. Сопротивление абразивному изнашиванию и твердость металлов, Доклады Академии наук СССР, т. 88, № 3, 1953.

15. Славинский М. П. Физико-химические свойства элементов, Металлургиздат, 1952.

16. W. Ton n. Beitrag zur Kenntnis der Verschleißvorganges beim Kurzversuch am Beispiel der reinen Metalle, Z. s. Metallkunde, 6, 1937.

17. Кузнецов В. Д., Бессонов Н. А. и Пиченин М. Ф. Изнашиваемость поверхности при внешнем трении в зависимости от поверхностной энергии, Журнал прикладной физики, т. 4, вып. 3, 1927.
